

List of Figures

1.1	Figure montrant l'évolution des robots mobiles autonomes	4
2.1	Robot mobile pour recharger les véhicules électriques [1]	6
2.2	Exemple d'un robot autonome pour la livraison [6]	7
2.3	Exemple d'un robot autonome pour le tri des stocks [2]	12
2.4	Exemple de la perception d'un robot mobile	14
3.1	Le premier robot mobile SHAKEY [4]	18
3.2	Le robot mobile JASON [3]	20
3.3	Le robot mobile Leo Rover	21
3.4	Tableau récapitulatif des robots (a)	23
3.5	Tableau récapitulatif des robots (b)	24

Contents

1	Introductions générale	4
1.1	5
2	Les robots mobiles autonomes	6
2.1	Description d'un robot mobile autonome	6
2.1.1	Quelles différences entre un AMR et un AGV ?	7
2.2	Classification des robots mobiles	7
2.2.1	Classification selon le degré d'autonomie	8
2.2.2	Classification selon le domaine d'application	8
2.2.3	Classification selon le type de locomotion	9
2.2.4	Les avantages des différents types de robots	10
2.2.5	Les inconvénients des différents types de robots	10
2.2.6	Les robots mobiles à chenilles	11
2.2.7	Les robots humanoïdes	11
2.2.8	Les robots mobiles rampants	11
2.3	applications pour ce les robots autonomes	11
2.4	Caractéristiques des robots mobiles	13
2.5	Structure de la commande d'un robot mobile	14
2.5.1	Perception et modélisation de l'environnement	14
2.5.2	Communication homme machine	15
2.5.3	Commande	15
2.6	Navigation autonome d'un robot mobile	15
2.6.1	Localisation	15
2.6.2	Planification et exécution de mouvements	15
2.6.3	Suivi de trajectoire	16
2.6.4	Evitement d'obstacles et parking	16
3	Les ouvrages précédents sur les robots mobiles	17
3.1	Introduction	17
3.2	Le robot mobile SHAKEY:	17
3.2.1	Description du robot	18
3.2.2	Système informatique du robot	19
3.2.3	Système décisionnel	19
3.3	Le robot mobile JASON	20
3.3.1	Description du véhicule	20

3.3.2	Système décisionnel	20
3.3.3	Système de décisionnel	21
3.4	Le robot mobile "ROVER"	21
3.4.1	Description du véhicul	22
3.4.2	système Informatique	22
3.4.3	Système décisionnel	22
3.5	Modélisation de la Caméra :	25
3.5.1	Conception	25
3.5.2	Composants d'une caméra :	25
3.6	Calibration D'une Caméra :	25
3.6.1	Calibrage avec un objet 3D de référence ou une mire :	25
3.6.2	Calibrage automatique (ou auto-calibrage) :	26
3.7	Résultat de la calibration de la caméra :	26
3.8	Définition des repères :	26
3.9	Résultats de Simulations et discussion :	27
3.10	.Conclusion :	27
4	Résultats et simulation	28
5	Conclusion générale	29

Chapter 1

Introductions générale

Les robots font désormais partie intégrante de notre quotidien. Les ingénieurs et les chercheurs ont tendance à révolutionner le domaine avec des technologies autonomes très proches des capacités humaines. Des chercheurs de l'Université Cornell ont développé un robot qui comprend ce qui l'entoure et s'adapte pour s'y adapter. Leurs travaux ont été publiés dans Science Robotics.

De manière générale, on regroupe sous l'appellation robots mobiles l'ensemble des robots à base mobile, par opposition notamment aux robots manipulateurs. L'usage veut néanmoins que l'on désigne le plus souvent par ce terme les robots mobiles à roues. Les autres robots mobiles sont en effet le plus souvent désignés par leur type de locomotion, qu'ils soient marcheurs, sous-marins ou aériens.

La robotique mobile autonome vise plus spécifiquement à concevoir des systèmes capables de se déplacer de façon autonome.

Les applications directes se situent notamment dans les domaines de l'automobile, de l'exploration planétaire ou de la robotique de service par exemple.

De nombreuses applications restent à découvrir, qui ne découlent pas directement des avancées de la robotique mais qui utilisent ses méthodes et ses développements.



Figure 1.1: Figure montrant l'évolution des robots mobiles autonomes

Les premiers robots mobiles autonomes (RMA) avaient en fait une autonomie très limitée. Par exemple, les sens et les calculs de Shakey sont encore limités, et planifier une action lui prend des heures. De plus, tout changement dans l'environnement l'obligerait à s'arrêter et à planifier un nouvel événement . Par exemple, il est impossible de se déplacer en présence d'obstacles mobiles.

La première méthode proposée pour permettre aux RMA de s'autogérer consiste à "aider" les robots industriels en s'adaptant à leur environnement. Avec le développement de la technologie et de la technologie, les robots "voient" plus et plus vite, "pensent" plus vite, et il devient possible d'explorer moins de travail et moins d'espace fixe. La véritable autonomie des robots offrira de nombreuses perspectives, et dans cet espoir, la robotique mobile autonome devenir une discipline scientifique en soi.

Les robots de service (assistance dans les hôpitaux, les aéroports, les bureaux, les usines ou les habitations), robots de maintenance pour les environnements dangereux ou difficiles d'accès pour l'homme (sous-marin, champs de mines, espace, centrales nucléaires), robots de divertissement (comme celui de Sony récemment sorti de Le Japon des chiens robots et même des véhicules intelligents (voitures autonomes ou systèmes d'assistance) sont quelques exemples d'applications Potentiel des RMA. Les résultats obtenus dans ces domaines au cours des dix dernières années témoignent des progrès considérables réalisés. Pourtant, depuis Shakey, peu de RMA sont réellement « sortis » des laboratoires pour se confronter au monde réel. La raison principale en est le nombre important de problèmes technologiques et scientifiques encore non-résolus pour des environnements incertains (informations incomplètes, bruitées, imprécises et/ou im- prédictibles), dynamiques (présence d'obstacles mobiles, changeants, déformables et /ou déplaçables) et ouverts (virtuellement illimités). De telles caractéristiques définissent les milieux dans lequel l'Homme évolue et auxquels les RMA sont destinés.

Problème abordé dans ce document

Le problème abordé dans ce document est celui de la « navigation autonome en environnement incertain et dynamique ». L'objectif est de développer des modèles et des techniques informatiques permettant à un robot terrestre de se déplacer de manière autonome, dans un environnement mal maîtrisé et en présence d'obstacles mobiles. Nous avons étudié deux thèmes importants

1.1

En présence d'obstacles mobiles, cela implique de faire des hypothèses, notamment sur les trajectoires des obstacles (bornées dans le temps) et les mouvements autorisés du robot. Ces hypothèses pouvant s'avérer inexactes, l'actualisation des connaissances et la prise de décision doivent se faire de manière itérative et dans un temps court et borné dépendant de la tâche (nous parlerons de contrainte temps- réel). Pour assurer la sécurité du robot, ce temps de réponse devra être d'autant plus court que les accélérations possibles des obstacles seront importantes.

Chapter 2

Les robots mobiles autonomes

2.1 Description d'un robot mobile autonome

AGV, AMR, Cobots, robots mobiles, exosquelettes, robots collaboratifs ... la robotique industrielle est devenue un vaste domaine dans lequel il n'est pas évident de se repérer. Cet article traite de la notion de Robot Mobile Autonome, dit AMR.



Figure 2.1: Robot mobile pour recharger les véhicules électriques [1]

L'AMR est un robot collaboratif dans le sens où il fonctionne au plus proche des opérateurs. Ils opèrent au milieu des Hommes et des Machines, au cœur des zones de travail et dans les univers encombrés.

L'AMR est doté d'un haut degré d'autonomie, il peut se déplacer dans un environnement plus ou moins vaste sans l'intervention humaine. Il se déploie facilement et s'adapte à la configuration d'un site, ne nécessitant pas de modification coûteuse d'infrastructure. De

même, si l'infrastructure et le besoin viennent à évoluer, les robots peuvent être reprogrammés facilement. Enfin, ce type de robots permet d'automatiser les tâches de transport et le déplacement de marchandises à l'intérieur d'un bâtiment, et constitue une solution agile pour la transformation vers l'Usine 4.0 et la supply chain digitalisée. Le robot mobile autonome est donc le symbole d'une mobilité industrielle nouvelle génération.



Figure 2.2: Exemple d'un robot autonome pour la livraison [6]

2.1.1 Quelles différences entre un AMR et un AGV ?

Contrairement aux AGV (Automated Guided Vehicle) qui ont des trajectoires dédiées, les AMR sont totalement libres et s'adaptent aux environnements dynamiques. L'AGV est guidé par des rails ou repères au sol, tandis que l'AMR navigue en total autonomie dans un environnement cartographié au préalable. Les robots mobiles autonomes sont dotés de technologies de pointe leur permettant de naviguer avec précision dans un périmètre donné, d'éviter les obstacles et d'évoluer sans risque de collision. La notion de sécurité est un sujet auquel les constructeurs sont particulièrement vigilants, de part les nombreuses interactions entre l'homme et la machine.

2.2 Classification des robots mobiles

La classification des robots se fait selon plusieurs critères.

- Le degré d'autonomie.
- Le domaine d'application.
- Le système de locomotion.

Il est important de noter que l'expression « robots mobiles » bien que désignant l'ensemble des robots à base mobile (par opposition aux robots manipulateurs), est généralement employé afin de désigner les robots mobiles terrestres.

2.2.1 Classification selon le degré d'autonomie

Un robot autonome doté de capacités décisionnelles et de moyens d'acquisition et de traitements de données lui permettant d'accomplir sous contrôle humain réduit voire même absent un certain nombre de tâches, dans un environnement connu ou non, donc on peut classer les robots mobiles de la manière suivante :

Robot télécommandé

Ce sont des robots commandé par un opérateur (machines ou être humain), qui leurs dicte chaque tâche élémentaire à accomplir (avancer, reculer, tourner, etc.).

Robot semi-autonome

Ces types de robots effectuent un certain nombre d'opérations par eux même d'une façon complètement autonome mais il peut être interrompu dans n'importe quel moment pour recevoir de nouvelles commandes dictées par l'opérateur .

Robot autonome

On dit qu'un robot est complètement autonome s'il est capable d'adapter son comportement à l'environnement dans lequel il évolue. L'autonomie est la capacité propre d'un système sans équipage, à capter, percevoir, analyser, communiquer, planifier, et prendre des décisions et agir les objectifs qu'pour atteindre lui ont été assignés.

2.2.2 Classification selon le domaine d'application

L'un des plus grands avantages des robots mobiles est le fait que leur domaine d'application est illimité, nous présentons ici quelques domaines d'application :

Les robots industriels et de service

La robotique industrielle est définie par l'ISO comme un contrôle automatique, polyvalent manipulateur programmable dans trois ou plusieurs axes. Les applications typiques incluent des robots de soudage, de peinture et d'assemblage. La robotique industrielle inspecte les produits, rapidement et précisément. Les robots industriels sont très utilisés en automobile, leur conception nécessite un très haut niveau dans le domaine de l'ingénierie. Quant aux robots de service, ils sont destinés à aider des handicapés, à guider les aveugles ainsi qu'à piloter des voitures automatiques.

Les robots militaires

Appelé arme autonome, est un robot autonome contrôlé à distance, conçu pour des applications militaires. Les drones sont une sous-classe des robots militaires. Ce champ d'application présente l'intérêt de fournir des spécificatins accrues telles la vitesse des véhicules, leurs capacités de franchissement d'obstacles, ainsi que leur rapidité de réaction en font des robots de très hautes performances.

les robots de laboratoire

La robotique de laboratoireest l'utilisation derobotsdans les laboratoires debiologieou de chimie,pour ce la les sociétés pharmaceutiques utilisent des robots pour la synthèse de nouvelles entités chimiques ou pharmaceutiques afin de tester la valeur des matières chimiques.

2.2.3 Classification selon le type de locomotion

Les robots mobiles à roues

La mobilité par roues est la structure mécanique la plus utilisée en robotique mobile,Il assure un déplacement aisément, mais nécessite un sol relativement plat. On distingue plusieurs classes de robots à roues, déterminées principalement par la position et le nombre de roues utilisées. Nous citerons ici les classes principales de robots à roues.

Robots unicycle

Un robot de type unicycle est actionné soit par une seule roue ou par deux roues indépendantes, on utilise (gyroscope) et (accéléromètre) pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices. Un robot unicycle celui qui bouge dans un plan 2D ayant une certaine vitesse de déplacement vers l'avant, mais aucun mouvement latéral instantané, car ce type de robots sont un système non-holonom. Ils sont donc incapables d'avoir un déplacement dans une direction perpendiculaire aux roues de locomotion.

Robots tricycle

Un robot de type tricycle est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et d'une roue libre centrée. Le mouvement du robot est alors donné par la vitesse des roues fixes et son orientation est assurée par la roue libre. C'est là aussi un robot non-holonom. En effet, il lui est impossible de ce déplacé dans une direction perpendiculaire aux roues fixes.

robots voiture

Un robot de type voiture est semblable au robot tricycle, sauf qu'il est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables. Le robot de type voiture est cependant plus stable . Toutes les autres propriétés du robot voiture sont identiques au robot tricycle.L'un des plus grands projets dans ce domaine est le projet développé par « Google » le « Google Self-Driving Car Project ».

image

Robots mobiles omnidirectionnels

Un robot mobile est omnidirectionnel si l'on peut agir indépendamment sur la vitesse de translation selon les axes x et y et la vitesse de rotation autour de z. En général constitué de trois roues décentrées orientables qui sont placées de manière à former un triangle équilatéral. L'énorme avantage de ce robot est qu'il est holonome, Mais ceci ne se fait qu'au dépend d'une complexité mécanique bien plus importante par rapport aux autres types de robots mobiles

2.2.4 Les avantages des différents types de robots

Unicycle

* Stable. * Rotation sur soi-même. * Complexité faible.

Tricycle

* Complexité mécanique modérée.

Voiture

* Stable. * Complexité mécanique modérée.

Omnidirectionnel

* Holonome. * Stable. * Rotation sur soi-même.

2.2.5 Les inconvénients des différents types de robots

Unicycle

* Non-holonome.

Tricycle

* Non-holonome. * Peu stable. * Pas de Rotation sur soi-même.

Voiture

* Non-holonome. * Pas de Rotation sur soi-même.

Omnidirectionnel

* Complexité mécanique importante.

2.2.6 Les robots mobiles à chenilles

Les robots mobiles à chenilles présentent l'avantage d'une bonne adhérence au sol et d'une faculté de franchissement d'obstacles. L'utilisation est orientée vers l'emploi sur sol accidenté ou de mauvaise qualité au niveau de l'adhérence. Généralement ils sont utilisés principalement pour la surveillance ou de déminage. image

2.2.7 Les robots humanoïdes

Les robots marcheurs sont destinés à réaliser des tâches dont l'accès au site est dangereux ou impossible à un humain. Leur anatomie a de nombreux degrés de liberté, ce qui permet un rapprochement avec les robots manipulateurs. La locomotion est commandée via des articulations. Les méthodes de commande des articulations définissent le concept d'allure qui assure le déplacement de l'ensemble. C'est des robots bipèdes qui se déplacent de façon complètement autonome. Ainsi que même des animaux comme le robot Cheetah de Boston Dynamics qui a marqué l'histoire le 29 mai 2015, car il a réussi une succession de tests (sauts d'obstacles, course, etc.). Et cela de façon complètement autonome. On trouve aussi des robots insectes comme le robot Octopodes T8 de Robugix. L'adaptation au support est un problème spécifique aux robots marcheurs, car la surface de contact entre le robot et le sol est très faible d'où la grande instabilité de ce type de robot. C'est pour remédier à cela que ces robots sont truffés de capteurs en tous genres (capteur de proximité, de contact, de vision, etc.).

2.2.8 Les robots mobiles rampants

La reptation est une solution de locomotion pour un environnement de type « tunnel » ou « galerie ». Le système est composé d'un ensemble de module ayant chacun plusieurs mobilités.

- Le type scolopendre constitue une structure inextensible articulée selon deux axes orthogonaux.
- Le type lombric comprend trois articulations, deux rotations orthogonales et une translation dans le sens du mouvement principal.
- Le type péristaltique consiste à réaliser un déplacement relatif d'un module par rapport aux autres modules voisins.

2.3 applications pour ces les robots autonomes

Un AMR peut intervenir autant sur des missions « simples » telles qu'une préparation de commande ou une opération picking, que dans des concepts d'automatisation plus complexes et globaux, en s'interfaisant à des périphériques comme des convoyeurs, des lignes de production, des îlots intégrés, ou des postes de travail. Principalement utilisés dans le monde de l'Industrie pour déplacer de manière autonome des marchandises (usines, ateliers ou entrepôts, ...), l'usage des robots ne sont pas pour autant limités au secteur industriel. Les gains en mobilité attribués au fil des années et leur grande polyvalence ont permis d'élargir largement les applications :

- Missions de logistique (kitting, alimentation des bords de lignes et de production dans l'Industrie (transferts de pièces).
- Opérations de manutention, de préparation de commandes, de pick and drop dans la Logistique et ses entrepôts.
- L'alimentation des rayonnages ou la préparation Drive dans la Distribution/Retail.
- Dans les univers E-commerce, ils contribuent à la gestion des entrées de colis, la ramasse, le tri, la ventilation, et la gestion des retours et sorties.
- Dans les univers E-commerce, ils contribuent à la gestion des entrées de colis, la ramasse, le tri, la ventilation, et la gestion des retours et sorties.
- Leur flexibilité leur permet également d'intervenir dans une multitude d'autres domaines, comme le transport, les services et les établissements de santé.
-

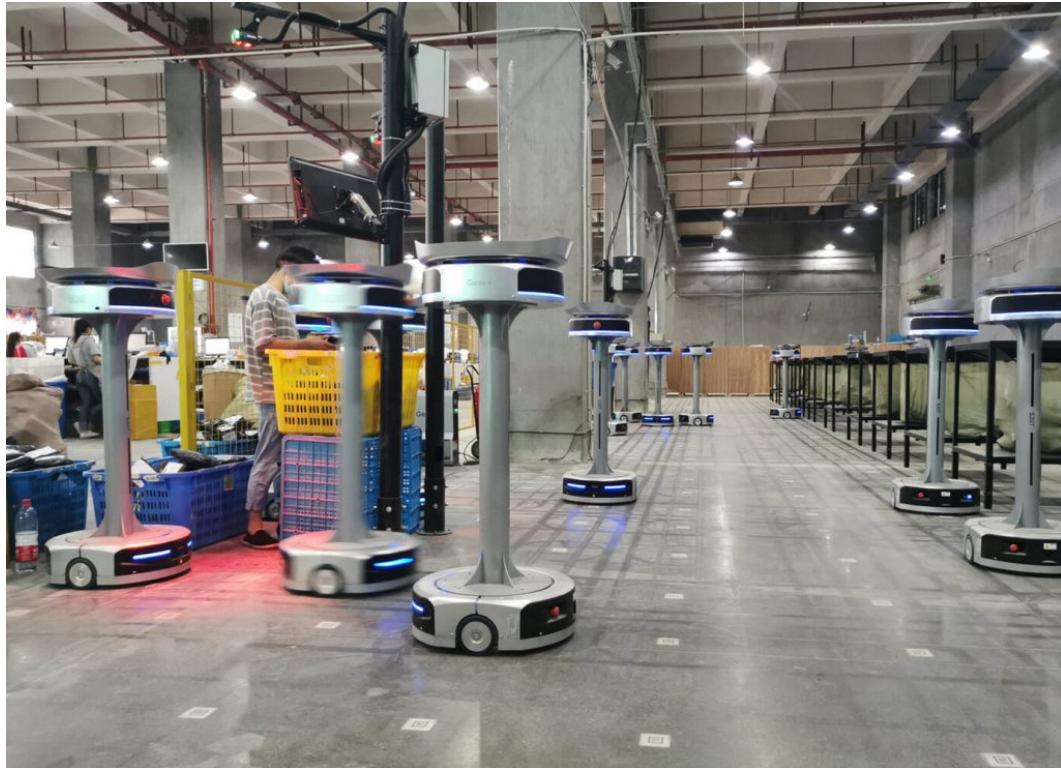


Figure 2.3: Exemple d'un robot autonome pour le tri des stocks [2]

Leur flexibilité leur permet également d'intervenir dans une multitude d'autres domaines, comme le transport, les services et les établissements de santé.

2.4 Caractéristiques des robot mobile

Les robots Meanwhile sont dotés de l'intelligence artificielle spécialisée dans la navigation en intérieur (SLAM). Le SLAM, Simultaneous Localisation And Mapping, permet au robot de construire son environnement et de modifier son comportement en fonction des obstacles non cartographiés tout en se localisant en temps réel. Afin de se déplacer en toute autonomie et sans trajectoire prédéfinie, le robot va combiner les informations qui lui sont propres avec les informations de son environnement (renvoyées par ses lasers et capteurs .)

Pour être considéré comme tel, un AMR doit répondre aux caractéristiques suivantes :

Planification de mouvement Pour réaliser sa mission, l'AMR a la capacité d'optimiser son trajet. Sa configuration de départ va définir sa trajectoire globale et va évoluer en fonction des données récupérées en temps réel ce qui va altérer sa trajectoire locale. L'AMR va ainsi calculer, en permanence, son chemin sans collision. En d'autres termes, pour réaliser sa mission, le robot Meanwhile optimise son trajet, qu'il a lui-même défini au départ (trajectoire globale), tout en évitant les obstacles qui se présentent éventuellement à lui (trajectoire locale).

Localisation Pour pouvoir planifier son trajet en toute autonomie, les robots mobiles Meanwhile sont en mesure de se localiser dans leur environnement. Ils utilisent un certain nombre de capteurs embarqués, tel que des scrutateurs lasers, lasers verticaux etc. Pour être en permanence localisés, les robots Meanwhile vont, en temps réel, comparer leur cartographie à l'environnement modélisé par leurs capteurs. Ainsi, tout défaut de positionnement intrinsèque est instantanément corrigé et le robot est en permanence localisé. Par ailleurs, lorsque les environnements de travail sont très dynamiques, il est possible d'améliorer la localisation du robot par un système de triangulation lumineuse, appelé Acuity.

Navigation naturelle Les robots mobiles sont en mesure de calculer les commandes des actionneurs du système permettant de réaliser le mouvement planifié. Le robot planifie sa propre trajectoire. Il suit le chemin prévu (trajectoire globale) tout en évitant les obstacles non cartographiés sur le chemin. Si le robot rencontre des obstacles, il modifie sa trajectoire « locale » pour les éviter mais si ce dernier ne peut pas continuer (par exemple, une porte est fermée), il replanifie globalement son trajet (par exemple, trouver une porte différente.)

Évitement réactif d'obstacles En complément du scrutateur laser principal de sécurité, situé à 200mm du sol, les cobots mobiles Meanwhile sont équipés de différents capteurs leur permettant de contourner et d'éviter les obstacles :

Un scrutateur laser de « détection de pieds » situé à 60mm du sol. Ce capteur permet au Cobot Mobile de détecter et de contourner tout obstacle situé au niveau du sol.

Une rangée de sonars situés à l'arrière du Cobot Mobile. Ces capteurs permettent un mouvement de recul sécuritaire du Cobot Mobile. A noter que le Cobot Mobile ne recule que dans des zones identifiables et jamais de sa propre initiative (appel d'une fonction au cours d'une séquence) (accostage de la station de charge par exemple).

Les scrutateurs lasers verticaux, permettant de créer deux plans de part et d'autre du Cobot Mobile. Il peut alors détecter de manière fiable tout objet surplombant situé dans un plan différent des scrutateurs horizontaux (fourches de chariots élévateurs, tablettes opérateur, etc...) ainsi que toute déclivité dans le sol. Ces données sont utilisées lors de la navigation et permettent au Cobot Mobile de se mouvoir de façon optimale entre les obstacles dans des environnements complexes.

Déploiement rapide L'installation des robots mobiles autonomes Meanwhile est réalisée dans des délais extrêmement courts car il n'est pas nécessaire de modifier l'infrastructure existante. De même que les robots peuvent être reprogrammés facilement, si l'infrastructure et le besoin évoluent. (Nos clients sont en mesure de modifier eux-mêmes les points de livraisons.)

2.5 Structure de la commande d'un robot mobile

L'objectif de la robotique est d'atteindre un objectif dans son environnement en évitant les obstacles. Le problème que l'on doit résoudre est de déterminer les commandes appropriées en fonction des données capteurs qu'elles commandent doivent être envoyées à chaque instant au robot pour atteindre cet objectif. Donc l'idée est de permettre au robot d'évoluer dans un monde prévue à l'origine pour l'homme.

2.5.1 Perception et modélisation de l'environnement

Le robot doit être muni d'un système de perception capable de fournir des informations précises sur l'état de l'environnement qui l'entoure, afin de pouvoir identifier et regrouper des éléments utiles pour une représentation fiable et consistante de cet environnement.

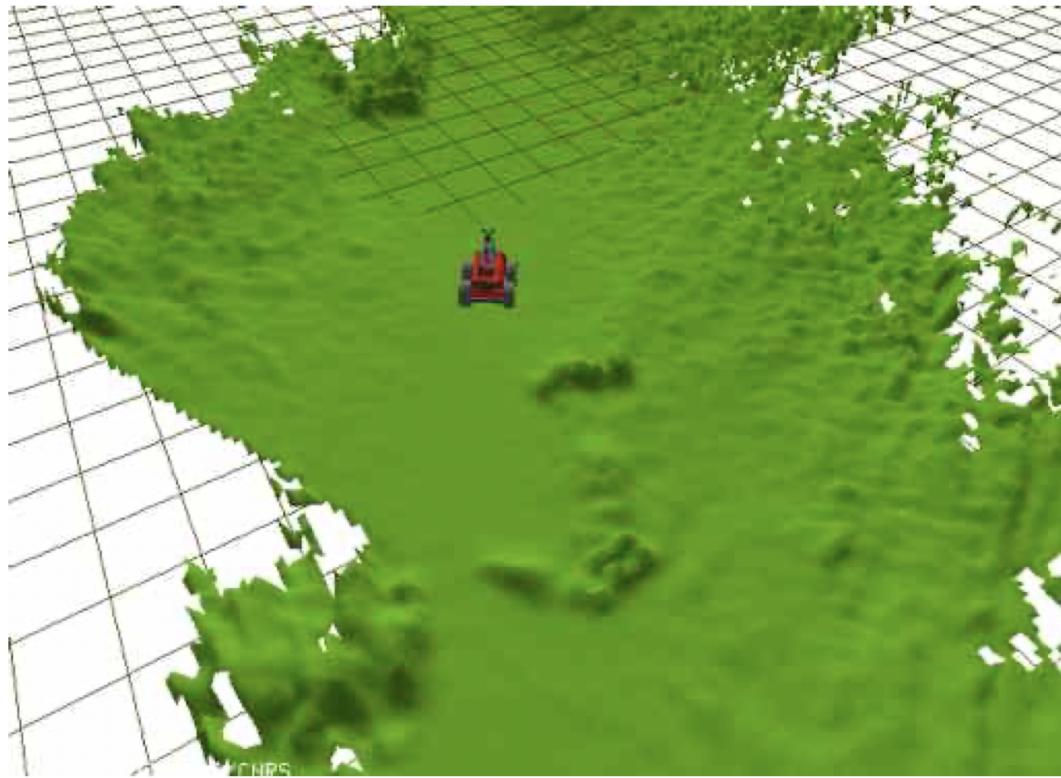


Figure 2.4: Exemple de la perception d'un robot mobile

2.5.2 Communication homme machine

La communication machine est très essentielle pour cela des interfaces de plus en plus conviviale sont développés. La communication est réalisée à l'aide de multiples supports : écrit, visuel, ou encore sonore. Le module de communication semble prendre de plus en plus d'importance à l'heure actuelle.

2.5.3 Commande

Architecture traditionnelle de décomposition du programme de contrôle du robot en différents modules de fonctionnement est donnée comme suit : caoture decean

Du monde abstrait au monde concret, la planification des actions et le contrôle des déplacements se situent dans le monde idéal, monde perçu et le monde réel cette décomposition est classique pour les systèmes automatiques de commande.

2.6 Navigation autonome d'un robot mobile

Généralement, la navigation d'un robot mobile est une tâche qui consiste à trouver un mouvement libre dans l'espace de configuration sans collision avec les obstacles proches du robot. Ce mouvement amène le robot d'une configuration initiale, vers une position finale désirée. Le robot mobile doit mettre en œuvre certains nombres de fonctionnalités pour exécuter une tâche de navigation autonome :

2.6.1 Localisation

Le succès dans l'exécution d'une tâche associée à un déplacement est directement lié à la capacité des robots de se positionner par rapport à son environnement. Cette localisation doit être la plus précise possible, et dépend de la fiabilité, de la représentation de l'environnement construite par le système et de la perception du robot.

2.6.2 Planification et exécution de mouvements

Le robot doit être capable de se déplacer de façon sûre à travers l'espace libre de l'environnement, tenant compte de la présence d'éventuels obstacles statiques et dynamiques. Le problème de déplacement du robot dans l'environnement rencontre les mêmes difficultés que la localisation et la modélisation liées à la présence d'incertitudes qui font que le déplacement commandé ne sera pas de manière générale exécuté parfaitement. Ces fonctions ne sont pas indépendantes. On note, bien évidemment, que la perception de l'environnement intervient dans toutes. La planification de mouvement s'intéresse au calcul automatique de chemins sans collision pour un robot quelconque (robot mobile, bras manipulateur, etc.) évoluant dans un environnement encombrés d'obstacles. Historiquement les premières études ont été basées sur le cycle classique en intelligence artificielle : perçoit, pense, agit. La décomposition du problème a été à l'origine de nombreux travaux. La présence de multiples modules

attachés chacun à la résolution d'un sous problème nécessite la mise en place d'une organisation permettant la construction d'un système complexe à partir ces briques élémentaires. Cette organisation est appelée architecture de contrôle.

2.6.3 Suivi de trajectoire

Cette étape consiste à calculer les commandes des actionneurs du système permettant de réaliser le mouvement planifié. Un robot étant considéré comme un système dynamique. [On utilise des méthodes de commande à retour d'état pour l'asservissement de système sur une trajectoire de référence].

2.6.4 Evitement d'obstacles et parking

L'évitement des obstacles est un comportement de base présent quasiment dans tous les mouvements des robots mobiles. Cependant pour des anomalies comme une localisation imparfaite, le suivi de la trajectoire planifiée ne garantie pas l'absence de collision avec les objets statique ou dynamique existant. L'étape finale de la navigation autonome s'appelle Parking, elle nécessite une forte précision pour l'atteinte du bute finale.

Chapter 3

Les ouvrages precedents sur les robot mobiles

3.1 Introduction

nous allons exposer les principales recherches sur les robots autonomes. Nous allons adopter l'ordre chronologique, bien que certains travaux aient eu lieu en parallèle. On ne parlera pas des systèmes où le robot était astreint à suivre un chemin fixe déterminé par des équipements externes placés dans son environnement d'évolution. On fera plutôt allusion aux travaux qui ont grandement aidé et marqué la nouvelle vague de robots mobiles dits de troisième génération.

3.2 Le robot mobile SHAKY:

Shakey le robot est le premier robot générique capable de raisonner sur ses actions¹. Il a été créé à la fin des années 1960 en Californie par SRI International avec le soutien de la DARPA. En 2004, il a été nommé au Robot Hall of Fame. [4]

Le robot Shakey pourrait analyser les commandes et les décomposer lui-même en morceaux de base. En raison de sa nature, le projet combinait des recherches en robotique, vision par ordinateur et traitement du langage naturel. Pour cette raison, c'était le premier projet qui mélangeait le raisonnement logique et l'action physique [5].



Figure 3.1: Le premier robot mobile SHAKEY [4]

En tant que précurseur, ce projet posa la plupart des problèmes conceptuels et y apporta des solutions intéressantes. Les problèmes techniques furent naturellement résolus avec les contraintes de la technologie de l'époque.

3.2.1 Description du robot

Le robot SHAKEY était symétrique possédant deux roues motrices. L'axe des roues passait par le centre du robot, ces dernières sont commandées par des moteurs indépendants et deux roues folles . Le robot avait la possibilité de se déplacer en des lignes droites et des rotations autour de son axe vertical.

Le système de perception du robot est composé d'une caméra de type VISICON et un télémètre optique ainsi que des "moustaches de chat" , ce télémètre était utilisé comme détecteur de proximité.

La communication avec l'ordinateur de contrôle était assurée par deux liaisons radio dont une pour la transmission de l'image vidéo.

3.2.2 Système informatique du robot

Le système du robot est passé par deux phases, initialement le système était constitué d'un ordinateur XDS-940 qui assurait toutes les tâches mais ce système posait des problèmes sérieux de « swapping » entre les segments des différents programmes et de gestion d'interruptions en temps réel. Dans la deuxième phase, le 940 fut remplacé par un PDP-IO.

3.2.3 Système décisionnel

initialement le système était constitué d'un ordinateur XDS-940 qui assurait toutes les tâches mais ce système posait des problèmes sérieux de « swapping » entre les segments des différents programmes et de gestion d'interruptions en temps réel. Après, le 940 fut remplacé par un PDP-IO.

Au niveau le plus bas, se trouvaient les primitives du système qui permettaient la commande directe des effecteurs et senseurs. Après des actions de niveaux intermédiaires assuraient certaines fonctions comme la navigation. Ces actions étaient primitives du niveau supérieur STRIPS, les plans élaborés étaient exécutés par le niveau suivant, PLANEX. Ce système décisionnel utilisait un seul modèle du monde du calcul des prédictats du premier ordre. L'exécution des actions de bas niveau modifiait ce modèle du monde. Des actions de niveau intermédiaire C'est le cas du système de navigation qui utilisait une grille plane de 4x4 carreaux, chaque cellule pouvait être:

(1) vide, (2) pleine, (3) partiellement pleine ou (4) de contenu inconnu En tout trois niveaux de grille pouvaient être utilisés jusqu'à obtenir un carré d'un pied de côté. Un programme spécial avait pour tâche la mise à jour du conteur des cellules. Le modèle de grille était utilisé pour produire un graphe dont les noeuds (polyédraux). Un arc reliant deux noeuds indiquait que les deux sommets étaient atteignables en ligne droite. Les noeuds étaient les sommets des obstacles grossis de manière à tenir compte de la taille du robot afin de le représenter par un point. Le point représentatif du robot et le meilleur chemin entre les deux points était fourni par l'utilisation de l'algorithme A* .

3.3 Le robot mobile JASON

Le second projet de robot mobile complet fut celui de l'Université de Berkely. Le souci des concepteurs fut initiallement la limitation du coût.

3.3.1 Description du véhicule

Le robot était un véhicule de plusieurs étages mesurant 2x2x4 pieds et pesant 300 livres, et possédant deux roues motrices commandées par des moteurs à courant continu à l'arrière et une roue folle à l'avant. Un manipulateur de conception simple ainsi qu'une barre pour détecter le contact des objets et pour les pousser. Les moyens de perceptions dont JASON fut effectivement doté consistaient en: (i) une torche à ultrason à balayage qui devait permettre la mesure de la distance et de la texture des objets,(ii) 8 diodes électro-luminescentes en (LED) distribuées sur le pourtour du véhicule et sur détecteur de proximité.

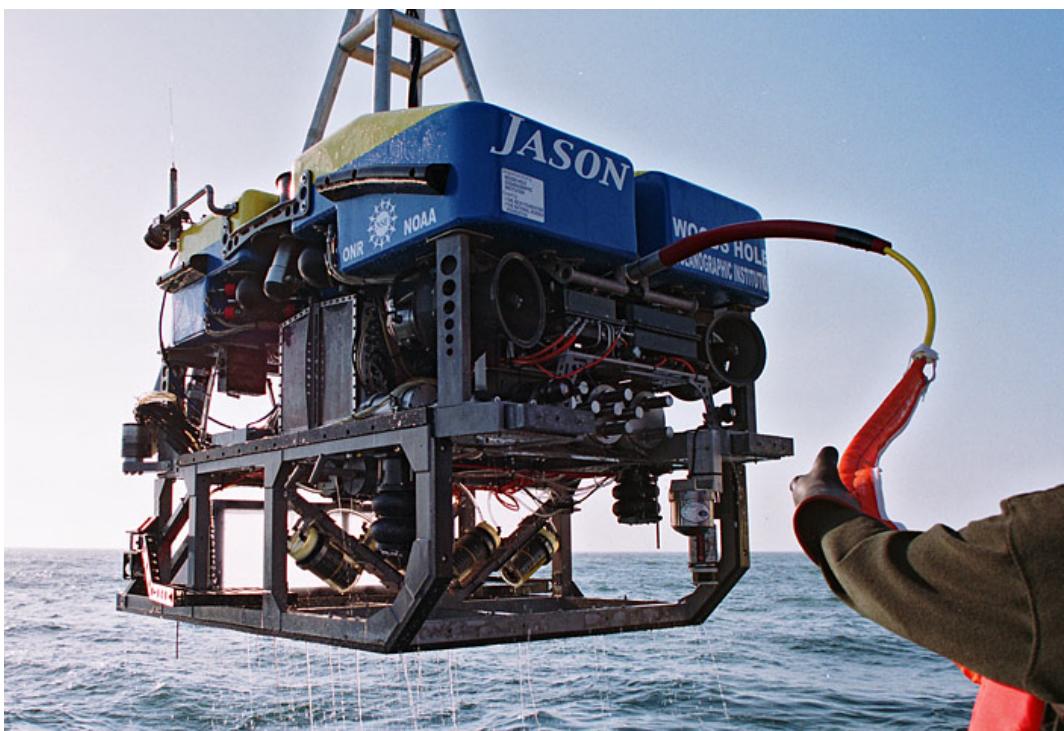


Figure 3.2: Le robot mobile JASON [3]

3.3.2 Système décisionnel

Ce système était initialement un miniordinateur HP3000 en temps partagé. Il fut ensuite remplacé par un PDPIO. L'emploi des microprocesseurs devenant de plus en plus courant, un projet d'un système multi- microprocesseur avec un Intel 8080 pour gérer chaque senseur fut étudié plus tard. JASON pouvait être considéré comme un terminal ASCII pour le connecter à des ordinateurs différents.

3.3.3 Système de décisionnel

Ce système était composé de plusieurs "opérateurs". Le premier était conçu comme un réseau procédural dans lequel un graphe orienté des processus indiquait leurs conditions d'ordonnancement. Le second devait tenir compte des environnements où l'information est incertaine. Deux modèles étaient utilisés par le système, Un modèle relationnel et un modèle géométrique pour la navigation. Ce dernier consistait en une grille de taille et d'espacements de variables ramenée à un repère cartésien. Cette grille est remplie à partir des données du modèle relationnel sur la position et les dimensions des obstacles. Les obstacles sont entourés d'une zone de sécurité égale à la moitié de la taille du robot afin de réduire ce dernier à un point.

Cette grille est remplie à partir des données du modèle relationnel sur la position et les dimensions des obstacles. Les obstacles sont entourés d'une zone de sécurité égale à la moitié de la taille du robot afin de réduire ce dernier à un point.

La recherche de chemin, était effectuée en traçant la ligne droite qui joint le robot au but et en considérant l'une des extrémités des parois d'obstacle que coupe cette ligne comme sous-but, et ainsi de suite. Les capacités de manœuvre de JASON posaient un problème particulier qui obligeaient soit à augmenter la taille de la zone de sécurité, soit à vérifier à chaque rotation et fin de ligne droite la possibilité d'une collision.

3.4 Le robot mobile "ROVER"

Le projet le plus ambitieux de robot mobile fut celui que le JPL a commencé à réaliser dans le but de mettre au point un système autonome d'exploration planétaire (pour la planète Mars). Ce robot devait donc évoluer dans un environnement "réaliste" (peu idéal) et être effectivement suffisamment performant puisque l'intervention de l'homme dans la boucle de décision ne pouvait être rapide (distances astronomiques...), ni parfois possible.



Figure 3.3: Le robot mobile Leo Rover

3.4.1 Description du véhicul

Le robot expérimental servant de support de recherche était de la taille d'une petite voiture et comportait : - un chassis avec 4 roues motrices, les paires avant et arrière pouvant tourner, - divers capteurs de vitesse et d'attitude, - 2 caméras et un télémètre laser, - un manipulateur, - une liaison radio.

3.4.2 système Informatique

Le système informatique devait être constitué par un réseau de microcalculateurs et un minicalculateur à bord, reliés à un gros ordinateur par radio. Le système a toutefois fonctionné initialement avec un minicalculateur GA SPC-16 et un PDPIO, en plus d'un système graphique IMLAC PDS-ID.

3.4.3 Système décisionnel

Il était conçu comme une hiérarchie de processus concurrents distribués sur les différents calculateurs. Ces processus pouvaient communiquer entre eux par un système de boîte aux lettres. La structure de contrôle principale à bord coordonnait plusieurs processus (vision, navigation, manipulation) et communiquait avec l'opérateur à travers un système de contrôle "à terre". Le système de navigation est constitué par 3 processus concurrents qui sont: 1) L'exécutif de la navigation; 2) Le module de planification du chemin; 3) Le module de contrôle du véhicule. L'algorithme de recherche de chemin utilisé (PATH*) était similaire à A* et utilise la distance comme fonction de coût. Les chemins traversant des régions connues étaient préférés à ceux passant par des régions inconnues. La taille et les capacités de manœuvre du robot étaient prises en compte près des sommets en testant le chemin trouvé pour le centre. S'il y avait intersection entre les côtés des obstacles et la surface balayée par une translation du robot le long de ce chemin (les rotations sont aussi testées par une procédure particulière), on considérait les sommets du côté intersectant comme sous-but, comme précédemment.

Nom du robot	Forme et dimensions en mètre	Hauteur en mètre	Poids en Kg	Type de traction
Shakey	 1.07 1.07	1.74		Deux roues motrices en arrière et une roue folle en avant
Rover	 2.40 2.40		227	Quatres roues motrices et directrices
Jason	 0.6 0.6	1.22	136	Une roue folle en avant et deux roues motrices couplées
A.R.F.A		-	-	Deux roues motrices et deux roues folles
TAIP	 1.10 1.60	0.60		Deux roues motrices et une roue motrice directrice
Yamabico 1 2 3 3.1	 0.39x0.59 0.24x0.27 0.35x0.40 0.35x0.35	1.03 0.20 0.52 0.53		Deux roues folles et deux roues motrices
Newt	 R = 0.34	0.76		
Hilare	 1.10 1.10	0.70		Une roue folle et deux roues motrices
Cart	 1 1	1	100	Deux roues directrices couplées et deux roues motrices
Mel-Deic	 0.48x0.65		54	Deux roues folles et deux roues motrices
Mel-Doc 1 2 3	 0.49x1.12 0.35x0.84	1 0.47		Une roue directrice, deux roues motrices

Figure 3.4: Tableau recapitulatif des robots (a)

Nom du robot	Moteurs de traction et de direction	Organes sécurité	Manipulateur	Perception	Système informatique
Shakey	Deux moteurs pas-à-pas indépendant	Moustaches de caht pare-choc pneumatique	bras retro-table	Télémétrie laser Caméra rotative	calculateur extérieur à radio
Rover	Quatre moteurs CC à double brequage	Capteurs tactiles	manipulateur	Télém. laser Gyroscope Odométrie 2 caméras	Calculateur embarqué +extérieur +cable
Jason	Deux moteurs CC éventuellement couplés	Capteurs à US et à IR	bras	torche ultrsonore	calculateur extérieur à radio
A.R.F.A	Deux moteurs CC	Capteurs tactiles		Télém. acoustique fixe + mobile	Calculateur
TAIP		Capteur optique + micro-switches		Télém. optique triang. radio	
Yamabico 1 2 3 3.1	Deux moteurs CC			radar rotatif à US odométrie	micro-processeur embarqué
Newt	Deux moteurs pas-à-pas	capteur infra-rouge	bras	torche à US repér. acoust Caméra	mp embarqué Calcu. extér. +cable
Hilare	Deux moteurs pas-à-pas	Capteur à ultrasonore		Télém. laser triang. optique Caméra PhD	mp embarqué Calcu. extér. +radio
Cart				caméra mobile	calculateur extérieur + cable
Mel-Deic	Deux moteurs CC			odométrie ultrsonore caméra rotative périoscope	mp embarqué Calcu. extér. +radio
Mel-Doc 1 2 3	Deux moteurs CC			ultrsonore marques odométrie	micro-processeur embarqué

Figure 3.5: Tableau recapitulatif des robots (b)

3.5 Modélisation de la Caméra :

3.5.1 Conception

Une caméra doit réaliser une transformation ponctuelle qui fait passer d'un point physique de l'espace réel 3D à un point 2D sur le plan image. Ce qui revient à une transformation mathématique de R3 vers R2. Il existe plusieurs modèles dans la modélisation de la formation des images numériques. Notre étude prend comme modèle celui du sténopé ; appelé également le modèle perspectif (pin-hole en anglais) ; c'est un dispositif optique et le plus utilisé dans la vision par ordinateur. Ce modèle permet d'établir une relation entre un point de coordonnées 3D de la scène observée et sa projection dans l'image en 2D.

3.5.2 Composants d'une caméra :

Une caméra se compose d'une boîte dont l'une de ses faces est percée d'un trou minuscule qui laisse entrer la lumière comme indique la figure (3.1). L'image vient se former sur la face opposée au trou et celle-ci peut être capturée en y plaçant un support photosensible (papier photographique).

image

Une caméra perspective peut en effet être modélisée grâce au modèle du sténopé comme l'illustre la figure (3.2). Ce modèle associe à la caméra un repère cartésien ; ce repère dont son origine se situe sur le centre optique C est défini comme $R_c = [O_c \ X_c \ Y_c \ Z_c]$. La caméra est représentée par un plan image, le plan image est parallèle aux axes X_c et Y_c . Il est situé à une distance f de l'origine C appelée distance focale f de ce plan. La droite passant par le centre de projection et perpendiculaire au plan image est L'axe optique. L'intersection de l'axe optique avec le plan image est appelé point principal.

image

3.6 Calibration D'une Caméra :

Le calibrage consiste à estimer les paramètres intrinsèques et extrinsèques d'un modèle de caméra à partir d'un ensemble de points 3-D et de leur image. Il s'agit donc d'estimer les éléments de la matrice (3.7) ; Cette étape est incontournable pour de nombreuses applications de vision par l'ordinateur. Le calibrage de la caméra a été préalablement traité par la communauté de la photogrammétrie. Par conséquent, de nombreuses méthodes de calibrage ont été proposées dans la littérature. Ces approches sont généralement classifiées en deux catégories :

3.6.1 Calibrage avec un objet 3D de référence ou une mire :

Cette technique utilise l'observation d'objets en 3D avec des coordonnées connues. Les objets de calibrage (mire) (figure (3.7)) sont généralement des points répartis sur des plans orthogonaux ou sur un plan translaté dans la direction de sa normale. Le calcul peut alors être effectué de façon relativement simple [dib11].

3.6.2 Calibrage automatique (ou auto-calibrage) :

Dans cette technique, Le mouvement connu de la caméra filmant une scène statique est utilisé pour poser des contraintes sur les paramètres intrinsèques prenant en compte la rigidité des objets filmés en utilisant uniquement les informations de l'image [dib11]. Nous avons opté pour la première famille ; sachant qu'elle est disponible sur internet " camera calibration toolbox for matlab". Elle consiste à calibrer la caméra à partir de plusieurs images d'une mire. Prises sous des points de vue différents comme indique la figure (3.8).

image1 image2

Les positions des coins de chaque carré de la mire sont alors extraites puis raffinées en cas de distorsion. Ensuite les paramètres de la caméra sont déterminés par optimisation non linéaire.

3.7 Résultat de la calibration de la caméra :

Nous avons utilisé une webcam, type Logitech 720 hp (figure (3.9)) pour avoir un modèle et procéder à l'expérimentation. La caméra est placée sur un robot mobile qui se trouve au niveau du département d'électronique pour déterminer les paramètres intrinsèques de la caméra obtenus lors de la phase de calibrage. Leurs valeurs sont résumées dans le tableau (3.1).

image

tableau

La figure suivante présente le repère de la caméra $Rc(Oc, Xc, Yc, Zc)$. La pyramide rouge correspond au champ de vue effectif de la caméra défini par le plan d'image.

image

Sur cette nouvelle figure, chaque position et orientation de la caméra sont représentées par une pyramide verte par rapport à chaque image de calibration. Estimation relative de la pose d'une caméra par rapport à chaque image de calibration.

image

3.8 Définition des repères :

La modélisation du robot s'appuie sur différents repères Figure (3.11) définis comme suit : $R(O, XY, Y)$: Le repère lié à la scène repère monde) $Rr(Or, Xr, Yr, Yr)$: Le repère lié à la base mobile $Rc(Oc, Xc, Yc, Yc)$: Le repère lié à la caméra

Pour la base mobile ; la position est représentée par les coordonnées (x, y) du point, Or dans le repère Rr tandis que l'orientation est donnée par l'angle T . La position de la caméra dans le repère est décrite par le vecteur Oc $Or = (T, O, H)$. $Qb(X0, Y0, Z0, 1)$: Un point de trajectoire est exprimé dans le repère monde. Sa projection dans le plan image est $Q1(U1, V1, 1)$ Alors, comme nous l'avons vu la relation : $Q1 = K * Tcb * Qb$ Après calibrage, la matrice K est déterminée et le problème consiste ensuite à trouver la Tcb La relation entre le point de l'espace dans le repère monde et repère caméra est : $Qc = Tcr * Trb * Qb$

3.9 Résultats de Simulations et discussion :

Pour effectuer un asservissement visuel avec les paramètres obtenus, Nous avons procéder à une manipulation qui consiste à fournir au robot mobile les coordonnées échantillonnées d'une trajectoire que nous avons tracé sur une surface bien illuminée. Pour vérifier l'exactitude des coordonnées mesurées, nous avons choisi deux points sur la trajectoire à poursuivre en calculant leurs valeurs et les comparer avec celles mesurées (figure (3.13)). Les résultats de comparaison sont très satisfaisants et l'erreur est presque inexisteante. - la position de la caméra par rapport au repère monde est : $[X,Y,Z]_{\text{pow}(r)} = [20\text{cm}, 25\text{cm}, 30 \text{ cm}]_{\text{pow}(T)}$ -L'angle de rotation a été choisi entre le repère caméra et le repère monde.

image tableau

3.10 Conclusion :

Après avoir présenté la partie calibrage et modélisation de la caméra nous avons procédé au calibrage d'une Webcam caméra que nous avons choisi en tenant compte du prix et de la qualité. Cette étape est nécessaire pour déterminer les paramètres intrinsèques et extrinsèques de la caméra. La modélisation de la caméra présente la projection du point de l'espace 3D à un point 2D sur le plan image par trois transformations élémentaire successives : la transformation rigide, la projection perspective et la transformation affine.

Chapter 4

Résultats et simulation

Chapter 5

Conclusion générale

Bibliography

- [1] Description d'un robot mobile autonome – Recherche Google.
- [2] Large-scale AMR Sorting System for e-commerce.
- [3] Ocean Robots: Jason.
- [4] Shakey le robot.
- [5] Shaky le robot.
- [6] ItalianIngenio. Mobilité et industrie : les robots amr emballent la révolution.